

УДК 621.793

Ю. Д. Щицын, Д. С. Белинин, С. Д. Неулыбин, А. И. Панов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
г. Пермь

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА АНОДНОМ УЧАСТКЕ ДУГИ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

*Проведена оценка величины падения напряжения на анодном участке дуги при работе плазматрона на токе обратной полярности. Выполнены сравнительные исследования тепловложения в анод плазматрона разной конструкции.*

Ключевые слова: *плазматрон, обратная полярность, тепловложение, падение напряжения.*

*Y. D. Shchitsyn, D. S. Belinin, S. D. Neulybin, A. I. Panov*

## DETERMINING THE VOLTAGE DROP ACROSS THE ANODE PORTION OF THE PLASMA ARC METAL PROCESSING

*The estimation of the value of the voltage drop across the anode portion of the arc at the torch at current reverse polarity. A comparative study of heat input to the anode of the plasma torch of different designs.*

Keywords: *plasmatron, reverse polarity, heat input, the voltage drop.*

Тепловложение в электрод плазматрона и изделие определяется приэлектродными процессами и теплопередачей от сжатой дуги [1; 2; 3]. Процессы, происходящие на электродах и в приэлектродных областях, сложны и недостаточно изучены до сих пор.

Для плазменных процессов, выполняемых на токе прямой полярности, анодом является изделие, на токе обратной полярности – электрод плазматрона. Теплопередача в изделие определяет эффективность процесса обработки, теплопередача в электрод плазматрона – ресурс работы последнего. Зная падение напряжения на анодном участке дуги можно определить теплопередачу в анод [4]:

$$N_a = I_d(u_a + \varphi_a). \quad (1)$$

где:  $N_{\dot{a}}$  – тепловая мощность, передаваемая аноду, Вт;  $I_{\dot{a}}$  – ток дуги, А;  $u_a$  – анодное падение напряжения, В;  $\phi_a$  – работа выхода электрона из материала анода, эВ.

Однако определить реальное тепловложение в анод по предлагаемому выше выражению (1) сложно, т. к. точные значения  $u_a$  не определены. Величина  $u_a$ , по разным источникам, может быть в пределах 3–12 В. Исследователи отмечают малую зависимость  $u_a$  от материала анода.

Падение напряжения на анодном участке дуги можно определить по результатам оценки баланса теплообмена на электроде-аноде [7]. Тепловой баланс на электроде-аноде плазмотрона складывается из следующих составляющих (рис. 1):

Подвод энергии к аноду плазмотрона осуществляется:

- энергией электронов (работа выхода);
- кинетической энергией электронов дуги за счет соударения с поверхностью анода;
- теплоотдачей от дуги излучением.

Потери энергии с поверхности анода состоят из:

- тепла, отводимого теплопроводностью через анод  $q_{\lambda}$ ;
- тепла, отдаваемого анодом в окружающую среду излучением и конвекцией.

Внутренний источник тепловыделения  $q_0(R)$  отсутствует. Процессы теплообмена на аноде плазмотрона (и на изделии) сосредоточены практически на его торцевой части [8].

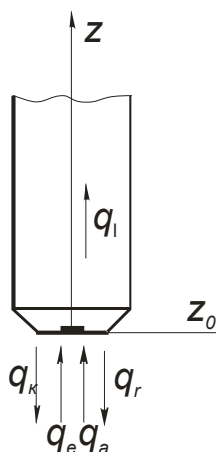


Рис. 1. Тепловой баланс на электроде – аноде,  $q_a$  – тепловой поток от анодной области,  $q_e$  – тепловой поток работы выхода электронов,  $q_{\lambda}$  – тепловой поток, отводимый теплопроводностью,  $q_k$  – тепловой поток, отводимый конвекцией,  $q_r$  – тепловой поток отводимый радиацией

Существенно снижается роль радиационного и конвективного теплообмена с окружающей обстановкой, в том числе и с внутренней поверхностью плазмообразующего сопла [9]. Излучение с поверхности анода при  $T \leq 1353 \text{ K}$  (температура плавления меди) при  $\varepsilon = 1$  не превышает  $q_1 \leq 1.9 \cdot 10^{-2} \text{ кВт/см}^2$ , что является пренебрежительно малой величиной. В действительности, температура анода вблизи рабочей зоны не превышает 623 К [4; 5]. По причине низкой температуры анода, сосредоточенности активного пятна вблизи осевой части торца анода с учетом структуры газовых потоков в плазмотроне, можно отметить малое влияние конвективного теплообмена на общий тепловой баланс на аноде [10]. В итоге уравнение теплового баланса на аноде предельно упрощается:

$$I_o(u_a + \varphi_a) = q_\lambda \quad (2)$$

Таким образом, измерив теплопередачу в анод, можно с достаточной для инженерных расчетов точностью определить  $u_a$ .

В представленной работе сделана попытка оценить величину падения напряжения на анодном участке дуги при работе плазмотрона на токе обратной полярности. Для этого были проведены сравнительные исследования тепловложения в анод плазмотрона разной конструкции. Использовался медный водоохлаждаемый анод (рис. 2а) и медный с глухо заделанным вольфрамовым прутком (рис. 2б). В качестве изделия использовался водоохлаждаемый медный имитатор [1; 4].

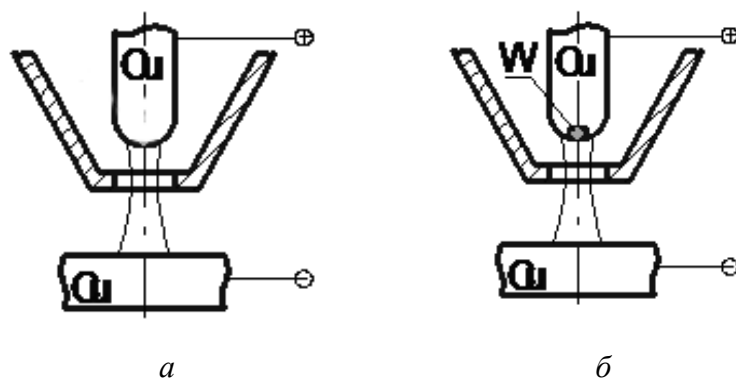


Рис. 2. Схема проведения исследований

Измерение тепловложения в электрод-анод плазмотрона проводили методом калориметрирования [1].

В процессе исследований  $I_d$  изменялся в пределах 50–300 А,  $d_c = 3$ –6 мм,  $h_{эи} = 5$  мм,  $Q_{п.} = 2$ –5 л/мин,  $h_{си} = 5$ –10 мм.

Получен большой массив экспериментальных данных, полное представление которого, в данной статье не представляется целесообразным.

Ниже представлены сравнительные результаты исследований. Сравнение проводится при одинаковых параметрах режимов. Величина тепловложения  $N_a$  в анод и соотношение падений напряжений на дуге и ее участках для вариантов а и б близки. Решающим фактором, определяющим теплопередачу в анод, являлся ток дуги, остальные параметры (диаметр плазмобразующего сопла, расход плазмобразующего газа, расстояние от плазмотрона до изделия) не оказывали заметного влияния.

Зная  $N_a$  и  $\varphi_a$ , из выражения (1) можно определить падение напряжения на анодном участке дуги. Работа выхода электронов для меди составляет 3,2 эВ, для активированного вольфрама – 2,6–2,8 эВ [6]. Для диапазона токов 50–150 А  $u_a$  находится в пределах 1,5–2,5 В, для токов 160–300 А 3,0–4,0 В. Полученные значения  $u_a$  вполне пригодны для определения теплопередачи при проведении оценочных расчетов работы анодов плазмотронов и эффективности нагрева изделия.

Выводы:

1. Предложено обоснование определения падения напряжения на анодном участке дуги используя измерение тепловложения в анод плазмотрона.
2. Определена величина падения напряжения на анодном участке дуги для токов в диапазоне 50–300 А.
3. Подтверждено предположение, что материал анода практически не влияет на анодное падение напряжения.
4. Полученные значения  $u_a$  пригодны для определения теплопередачи при проведении оценочных расчетов работы анодов плазмотронов и эффективности нагрева изделия.

*Работа выполнена в рамках проектной части гос. задания №11.1196.2014/К при поддержке Министерства образования и науки РФ.*

### *Список литературы*

1. Щицын Ю. Д., Косолапов О. А., Щицын В. Ю. Возможности плазменной обработки металлов током обратной полярности // Сварка и Диагностика. – 2009. – № 2. – С.42–45.
2. Быховский Д. Г., Беляев В. М. Энергетические характеристики плазменной дуги при сварке на обратной полярности // Автоматическая сварка. – 1971. – №5. – С. 27–30.
3. Исхаков Г.Г., Гапченко М. Н., Фесан В. П. Тепловой баланс микроплазменной дуги обратной полярности при сварке тонколистовых алюминиевых сплавов // Сварочное производство. – 1981. – № 1. – С. 2–4.
4. Щицын Ю. Д., Косолапов О. А. Влияние полярности на тепловые нагрузки плазмотрона // Сварочное производство. – 1997. – № 3. – С. 23–25.
5. Щицын В. Ю., Язовских В. М. Влияние полярности на тепловложение в сопло плазмотрона // Сварочное производство. – 2002. – № 1. – С. 17–19.
6. Эсибян Э. М. Плазменно-дуговая аппаратура. – Киев : Техника, 1971. – 164 с.
7. Щицын Ю. Д. Плазменные технологии в сварочном производстве. Ч. 1. – Пермь, 2004. – 73 с.
8. Пузряков А. Ф. Новые разработки и перспективы использования плазменных технологий // Сварочное производство. – 1997. – № 2. – С. 21–25.
9. Редчиц А. В., Овчинников В. В. Повышение энергетической эффективности плазменной сварки // Сварочное производство. – 2004. – № 8. – С. 21–23.
10. Особенности теплопередачи в изделие при работе плазмотрона на токе обратной полярности/ Ю. Д. Щицын [и др.] // ВЕСТНИК ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2014. – Т16. – № 2. – С. 42–50.